

【特許請求の範囲】

【請求項1】 試料に照射する電子ビームの焦点位置を変化させる焦点可変手段と、試料上の所定領域を電子ビームで走査する走査手段と、電子ビームを試料へ照射して発生した形状、材質等の情報を含む信号を検出する検出手段と、電子ビームの走査と焦点位置を制御する制御手段と、検出した信号を画像処理する画像処理手段と、焦点位置マップを記憶する記憶手段を有する走査電子顕微鏡において、焦点位置の異なる複数の画像から、画像処理により焦点位置マップを作成して、焦点位置マップに沿って、局部ごとに焦点位置を変化させて撮影することを特徴とする走査電子顕微鏡装置。

【請求項2】 対物レンズの焦点位置マップの作成手段において、エッジ検出処理で作成した焦点評価画像の信号レベルから焦点位置を求める手順で、閾値を設けて、閾値を越えない領域の焦点位置データを分割処理し、分割処理した領域データを周辺の焦点位置データと連続性のある値で埋めたことを特徴とする走査電子顕微鏡装置。

【請求項3】 対物レンズの励磁電流の制御方法において、対物レンズの磁束密度を検出する手段を設けて、検出した磁束密度信号を、走査を制御する手段にフィードバックして、励磁電流変化タイミングと走査タイミングの同期を取り、信号サンプリングタイミングを変化させながら撮影することを特徴とする走査電子顕微鏡装置。

【請求項4】 電子放出陰極と試料の間に、1次電子の速度を制御する変速電極を設け、1次電子速度を試料の凹凸合わせて変化させることを特徴とする走査電子顕微鏡装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、走査電子顕微鏡における自動焦点機能に関するもので、特に事前に得られた結果から焦点を適切に制御しながら撮影する機能を備えた走査電子顕微鏡装置に関する。

【0002】

【従来の技術】走査電子顕微鏡は、光学系顕微鏡で観察できないような微細な形状の画像の撮影に使用される。その信号は、一般にノイズを含んだ粗い画像であるため、画像の積算処理により信号対ノイズ(S/N)比を改善している。S/Nは、一般に積算回数が多いほど改善する。しかし、積算回数が多いほど撮影時間は長くなる問題がある。

【0003】ところで、走査電子顕微鏡は、その特徴から半導体ウェーハ上に形成された微細なパターンの測定や観察に使用される。例えば、半導体ウェーハの生産では、あるプロセス後のウェーハのパターン寸法管理等に用いる。管理パターンは、ライン幅やホールパターンの内径等であるが、プロセスの後の工程になるほどウェー

ハ上の段差は複雑になる。

【0004】近年、半導体のウェーハはさらに微細化され、半導体上のライン間の静電容量の増加により伝播遅延が伸びる傾向がある。そのため、ライン間の距離を保ちながら微細化を実現するために、配線材料に銅(Cu)を使用したり、誘電率の低い絶縁膜を導入する手法や配線層の多層化が行われる(吉川 公磨、「3GHz超のMPUを実現する半導体設計」日経エレクトロニクス 2000年1-3号、760号、pp.137-142)。

【0005】そのため、アスペクト比が大きく、コンタクトホール底部のように焦点が合わない測定部位に対し、従来の装置は、特開平7-176285号公報に記載のように、予め準備しておいたウェーハ情報ファイルから観察者、または、自動的に焦点補正値を登録装置に記憶し、補正値だけ焦点位置をずらして撮影する方法となっていた。

【0006】あるいは、特開平11-296680号公報に記載のように、複数の焦点位置画像を使用して、焦点があった局部画像を選択して、全焦点画像を得る方法となっていた。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】上記の特開平7-176285号公報の従来技術は、予め形状情報を準備する必要がある点について配慮がされておらず、形状が予見できない画像には対応できない問題があった。

【0008】また、特開平11-296680号公報の従来技術は、電子顕微鏡の信号特性から積算回数を重ねないと観察に耐えうる画像が提供できない点について配慮がされておらず、その方法から、焦点が合っている撮影フェーズのみの信号を使い、その他の撮影フェーズでの信号を捨てるため、撮影時間に対するS/N比の改善効果が小さくなるという問題があった。

【0009】本発明は、従来技術と同等の撮影時間に対するS/N比の改善効果を保ったまま、焦点深度を外れる高低差のある試料に対して、全領域で焦点の合った画像を提供することを目的とする。

【0010】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するために、本発明は、焦点位置を変えた複数の撮影画像から画像処理により局部ごとに焦点の合った撮影画像の焦点位置を算出する。

【0011】次に、この局部ごとの焦点位置を合わせて、被写体の形状に対応した焦点位置マップを作成する。

【0012】そして、この焦点位置マップを参照しながら、局部ごとに対物レンズの励磁電流値を変化させる、つまり、焦点位置を被写体の形状に合わせて連続的に変化させ、焦点深度を越えた部位でも焦点を合わせるようにしたものである。

【0013】

【発明の実施の形態】図1は本発明の走査電子顕微鏡の構成概略図である。また、図2が本発明の処理フローを示す図である。まず、これらの図を使い本発明の処理内容を説明する。

【0014】制御用計算機100が全ての撮影手順をコントロールする。まず、101のセレクトを切替えて励磁電流制御信号を固定値側に設定する。次に、102の励磁電流固定値回路に焦点位置に対応した励磁電流制御信号値を設定する。この励磁電流固定値回路は設定した励磁電流信号値を保持する回路である。そして、制御用計算機から103の撮影タイミング発生回路に起動を指示する。撮影タイミング発生回路では撮影タイミングとして垂直同期信号、水平同期信号、画素クロック等の撮影制御信号を発生する。

【0015】撮影制御信号は104の偏向回路で2次元の座標データに変換され、105のX、Y方向の偏向レンズを駆動する。106の電子銃で発生した電子線は、偏向レンズで位置を制御され、107の対物レンズで焦点位置の調整を行って108の試料に照射される。そして、試料からは形状や材質の情報を含んだ2次電子や反射電子等が発生し、109の検出器により電気信号に変換される。110の増幅器で微弱な信号を増幅して、111のアナログ／デジタルコンバータで、画像処理で扱い易いデジタル信号に変換する。112の前処理回路で信号積算処理によりS/Nの改善が行われ、画像データが113の画像メモリに格納される。

【0016】そして、予め設定した撮影焦点範囲を焦点深度で分割して得られるステップ数回分、励磁電流固定値回路の設定値を変更して、上記撮影手順を繰り返す。各励磁電流設定値ごとの画像データを画像メモリに格納する。この時の前処理の積算枚数は、撮影時間の短縮のため、積算枚数抑えたS/Nが低い画像である。

【0017】得られた各励磁電流設定値の画像データごとに、114の画像処理計算機で、エッジ検出処理と焦点評価処理を行って焦点位置マップを作成する。作成したマップは、115の励磁電流マップ記憶回路に記憶される。

【0018】次に、セレクトをマップ記憶回路側に変更して撮影を開始する。開始されると撮影タイミング発生回路の同期信号に合わせて、焦点位置マップ記憶回路から励磁電流の制御信号を出力する。励磁電流値に合わせて116の励磁回路で対物レンズを制御し、照射位置ごとに焦点位置を連続的に変化させて撮影を行う。この時、高品位の画像を得るために、積算回数を増やしてS/Nを改善する。撮影した画像は画像メモリに格納して、117の表示装置で出力する。

【0019】図1、図2の形態では、固定値回路と焦点位置マップ記憶回路が分かれており、セレクトで切替える構成であるが、焦点位置マップ記憶回路のみとして、

マップに固定値を書込むことで実現しても良い。

【0020】図3は本発明の画像処理計算機で実効される焦点位置マップ作成処理の概略図である。焦点位置は等間隔で δd ごとに变化させて撮影する。この δd は有効焦点深度幅以下であれば良い。また、 δd と励磁電流は図4のような関係があり、励磁電流を変化させることで焦点位置が変更できる。図3は焦点位置に対応した励磁電流を6段階に変化させて6枚の画像データを取得している図である。この取得枚数は、各分割有効焦点深度範囲が連続して要求焦点範囲をカバーするなら何枚でもよい。

【0021】画像処理の内容は、各原画像ごとにエッジ検出処理を行う。例えば、エッジ検出画像処理としては、雑音低減とエッジ検出を行う一次微分オペレータを使用するプレヴィットフィルタやソーベルフィルタ等があり、さらに、二次微分オペレータを使用するラプラシアンフィルタがある。さらに、予め準備しておいたエッジパターンに整合するモデルによって、エッジ方向や大きさを決定するモデル整合等を利用しても良い(土屋裕、深田 陽司、「画像処理」、pp. 68-76、コロナ社(1990))。

【0022】エッジ検出処理が行われた画像は、その焦点合致度によりその信号レベルが変わり、最も信号レベルが高い焦点位置、つまり、励磁電流値がその局所部位を撮影するのに最も適していることを意味する。これは、焦点位置がずれてボケた画像にエッジ検出処理を施して得られる信号レベルと、焦点位置が合って、エッジがシャープな画像にエッジ検出処理を施して得られる信号レベルでは、後者の方が大きな信号レベルを示すことを利用している。

【0023】ここで、エッジ検出処理の特性から試料の階調差のない平坦部分では焦点評価画像信号レベルが低いため、信号レベルのピークが発生せずに焦点位置を決定できない問題がある。

【0024】そこで、本発明では焦点評価画像信号レベルに閾値を設けて、閾値を越えた信号レベルがある場合と、全ての信号レベルで閾値を越えなかった場合とに分けて処理を行う。閾値を越えた場合は、その最大信号を出力した励磁電流値を励磁電流制御信号マップの対応する座標に書込む。また、閾値を越えなかった場合は、隣接する閾値を越えない画素どうして連結して平坦部分の領域分割を行う。領域分割した平坦部分が全て埋まったら、周囲の隣接画素の励磁電流値をこの領域分割部位の励磁電流値とするか、または、連続性のある値を分割領域の励磁電流値としてマップに書込めば良い。この時の閾値は、有効焦点深度範囲内であればよく、有効焦点深度範囲以下の微細構造は無視することで、対物レンズの追従速度を遅くできる。

【0025】以上のような上記手順を各焦点位置で実効し、焦点位置マップを完成させる。完成した焦点位置マ

ップに従い、励磁回路で対物レンズを駆動する。励磁回路で対物レンズを駆動する場合の問題点として、一般に対物レンズのコアが鉄芯等の磁気回路で構成されるため、磁束変化による電磁誘導作用で渦電流等の電磁誘導電流が、その磁束変化を妨げる方向に発生し、この電磁誘導電流が対物レンズの応答特性を低下させることである。つまり、走査速度に対物レンズの焦点制御が追従できない問題である。以下、この点を考慮した実地例を示す。

【0026】まず、高いS/N比が要求される観察画像の撮影に、走査速度に対物レンズの応答速度まで落とす方法である。この場合、単位時間当たりの画質改善効果を維持するために、画素積算処理を行う。これは、図5に示すように、サンプリング時間が走査速度より速く、一定な場合、走査が画素を横断する間に、サンプリングした信号を積算処理して、代表画素の値にすることで、S/Nを改善する効果を利用している。

【0027】図6は対物レンズの磁束密度を、601のピックアップコイルまたは、ホール素子で検出して、その信号を撮影タイミング発生回路にフィードバックして、走査速度に対物レンズの応答速度に同期させる実地例である。この場合、図7に示すように試料形状の高低差に合わせて走査速度を変化させ、さらに、走査速度の変化に合わせて602のサンプリング制御回路でサンプリングタイミングも変化させて、規定画素の画像を得る構成である。さらに、この変速サンプリングと先の画素積算処理を組み合わせても良い。

【0028】図8は対物レンズの磁束密度信号を励磁回

$$qV = \frac{1}{2}mv^2 \quad (q: \text{電荷}, V: \text{電位差}, m: \text{電子の質量})$$

【0032】で近似できる。つまり、電位差Vにより電子の速度vを制御できることを意味する。図12の様に、1次電子線には、対物レンズでローレンツ力

【0033】

【数2】

$$\vec{F} = q(\vec{v} \times \vec{B}) \quad (\vec{v}: \text{速度} [m/s], \vec{B}: \text{磁束密度} [T])$$

【0034】が加わり、1次電子線は、ある位置で焦点を結ぶ。この焦点の位置は、ローレンツ力の強弱により変り、ローレンツ力は、式に示すように、速度と磁束密度のベクトル積で求まる。本実地例では、対物レンズ手前に設けた変速電極で電位を可変することにより、一次電子の速度を変化させ、焦点位置を可変させるものである。また、1105のホルダに電位を掛けて同様な効果を持たせても良い。

【0035】図13は本発明と従来技術の焦点位置と処理内容の関係を示す図である。上段が本発明であり、中段が従来の自動焦点合わせ法であり、下段が従来の画像合成処理法によるものである。まず、本発明と従来技術の違いについて、その処理フローと焦点位置の関係から説明する。

*路にフィードバックして追従性を上げる実地例である。図9に、このフィードバック回路のモデル図を示す。焦点位置マップ記憶回路の制御信号に合わせて、十分な駆動力を持った励磁駆動回路で対物レンズを駆動して焦点位置を変化させる。この時、鉄芯の渦電流により応答良く磁束密度が変化しない場合、磁束検出器で得た磁束密度信号を焦点位置マップ記憶回路の出力にフィードバック処理して、励磁駆動回路の出力を適切に調整して対物レンズを駆動する。

【0029】図10は焦点位置マップ記憶回路の制御信号に、電磁誘導作用によって磁束の変化を妨げる方向に発生する渦電流による反発磁束と同程度の補正信号を加える実地例である。つまり、渦電流分の励磁電流を上乗せして、磁束の変化波形を補正する方法である。補正量は、事前にシミュレーションや実験を行い、変化速度に対する最適地を求めておけば良い。また、補正量は制御信号出力に加える他に、焦点位置マップ記憶回路の内容を、励磁電流制御信号を補正した値で書き換えても良い。

【0030】図11は、1106の電子放出陰極から1103の引出し電極により電子が引出され、試料に照射される途中で、1102の変速電極で電位を変化させることで、1次電子の速度を制御し、焦点位置を制御する実地例である。電子の速度が光速に比べて十分に遅い場合、電子の運動エネルギーは、

【0031】

【数1】

※【0036】本発明では、まず、焦点位置画像取得処理として積算数を少なく押さえた各励磁電流の焦点情報画像を撮影する。次に、画像処理により焦点位置マップを作成する。そして、積算数を増やした観察用の画像を、焦点位置マップに従い焦点位置を連続的に変化させて撮影する。

【0037】ところで、従来の自動焦点合わせ機能では、まず、焦点位置画像取得処理として積算数を押さえた各励磁電流の焦点情報画像を撮影する。次に、簡単な画像評価を行い、ある一定の励磁電流値を選択する。そして、選択した固定の励磁電流値で積算数を増やした観察用の画像を撮影する。つまり、本発明とほぼ同じ処理フローであり、積算により画質改善を行うため、撮影時間に対するS/N比の改善効果は、同等である。しかし、励磁電流（焦点位置）が一定であるため、画像に焦点位置が外れたボケた部位があり認識性が良くなかった。

【0038】また、従来の画像合成処理によるものでは、焦点位置画像取得処理は行わずに、はじめから積算数を増やした観察用の画像を撮影する。これを、焦点深

度ごとに欲しい焦点範囲分撮影を繰り返す。そして、各焦点位置の画像を画像処理にて合成し、一枚の全焦点画像を得る。つまり、全焦点でピントが合い認識性は良いが、本発明や上記従来技術の同じS/N比を得るためには、合成処理で捨てた撮影フェーズ分の積算回数分の追加撮影を行わなければならないため、撮影時間が長くなる問題があった。

【0039】以上のように、本発明では、従来の自動焦点合わせ機能とほぼ同じ処理フローで撮影を行いながら、全焦点画像を得ることができるため、従来技術と同じ撮影時間に対するS/N比の改善効果を保ったまま、焦点深度を外れる高低差のある試料に対して、全領域で焦点の合った画像を提供できる。

【0040】

【発明の効果】以上詳記したように本発明によれば、従来技術と同じ撮影時間に対するS/N比の改善効果を保ったまま、焦点深度を外れる高低差のある試料に対して、全領域で焦点の合った画像を提供できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の走査電子顕微鏡の構成概略図。

【図2】本発明の処理フローチャート。

【図3】本発明の励磁電流制御信号マップ作成処理の概略図。

【図4】励磁電流と焦点位置の関係を示す図。

【図5】画素積算処理の説明図。

【図6】本発明の励磁電流制御タイミングと走査タイミ

ングの同期に関係する走査電子顕微鏡の構成概略図。

【図7】試料の高低差と走査速度の関係を示す図。

【図8】本発明の励磁電流制御タイミングと走査タイミングの同期に関係する走査電子顕微鏡の構成概略図。

【図9】磁束検出器信号を使った励磁回路のフィードバック制御のモデル図。

【図10】渦電流補正を行った励磁回路の励磁電流制御のモデル図。

【図11】本発明の1次電子線電位を可変して焦点位置を変更する走査電子顕微鏡の構成概略図。

【図12】電子線電位と焦点位置の関係を示す図。

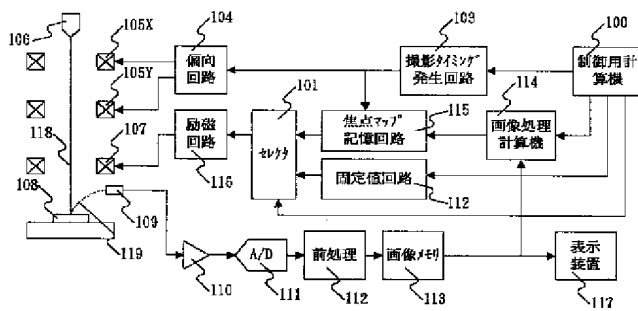
【図13】本発明と従来技術の焦点位置と処理内容の関係を示す図。

【符号の説明】

100…制御用計算機、101…セクタ、102…固定値回路、103…撮影タイミング発生回路、104…偏向回路、105…偏向レンズ、106…電子銃、107…対物レンズ、108…試料、109…検出器、110…増幅器、111…アナログ/デジタルコンバータ、112…前処理回路、113…画像メモリ、114…画像処理計算機、115…焦点マップ記憶回路、116…励磁回路、117…表示装置、118…1次電子線、119…2次電子、601…磁束変化検出器、602…サンプリング制御、1101…変速電位回路、1102…変速電極、1103…引出し電極、1104…陽極、1105…ホルダ、1106…電子放出陰極。

【図1】

図 1

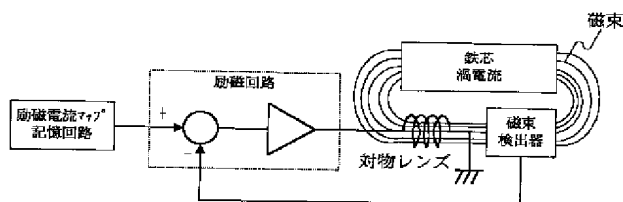
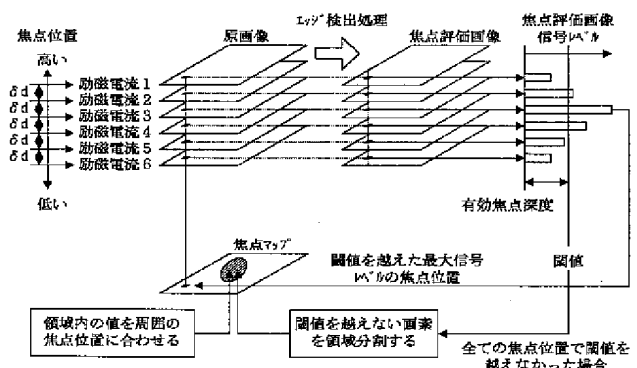


【図9】

図 9

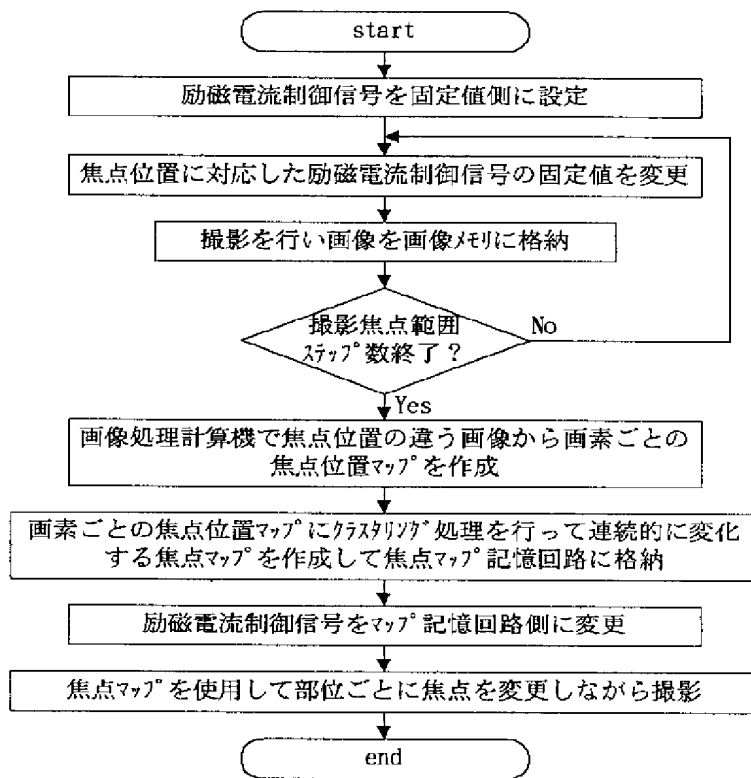
【図3】

図 3



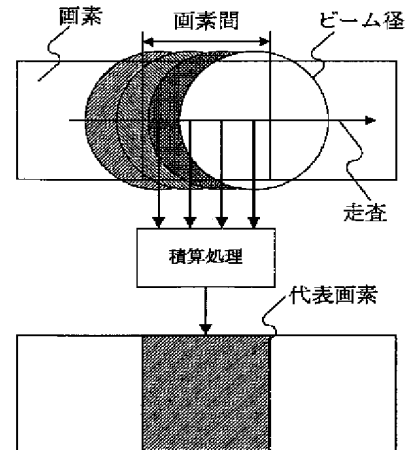
【図2】

図 2



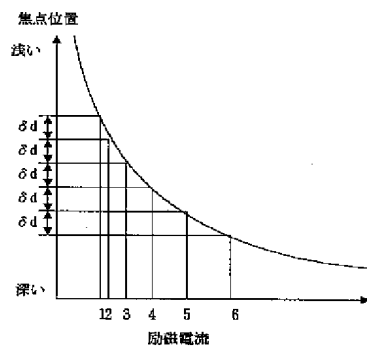
【図5】

図 5



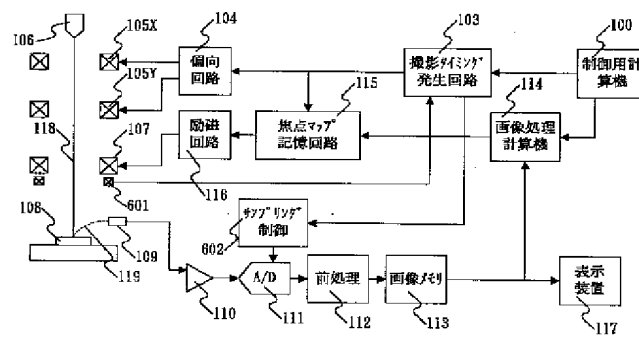
【図4】

図 4



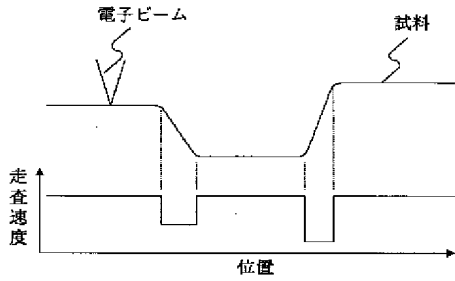
【図6】

図 6



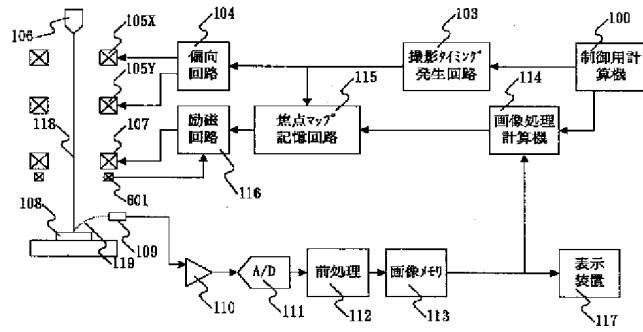
【図7】

図 7



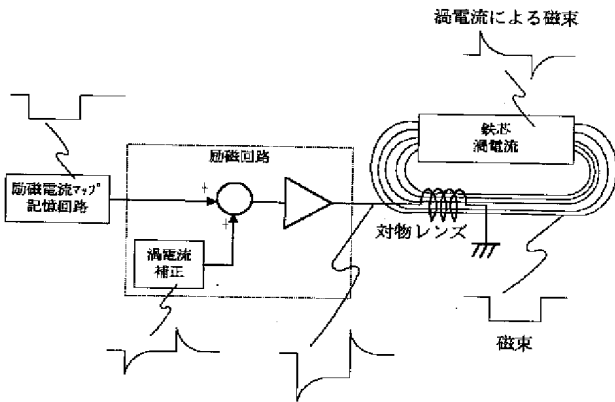
【図8】

図 8



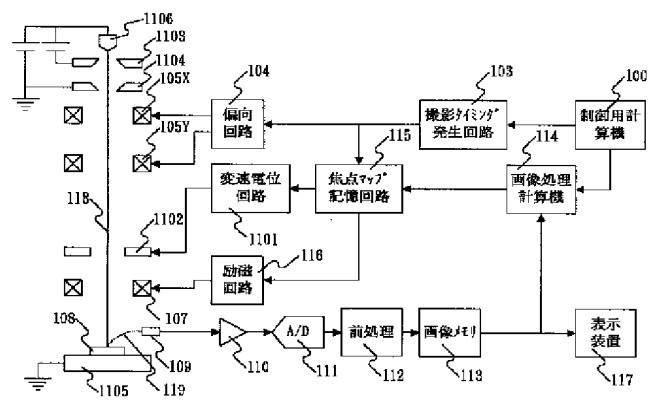
【図10】

図 10



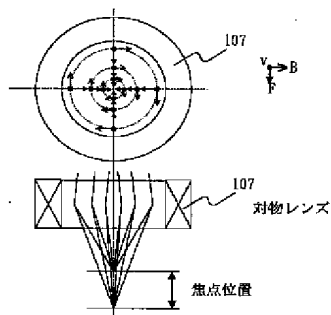
【図11】

図 11



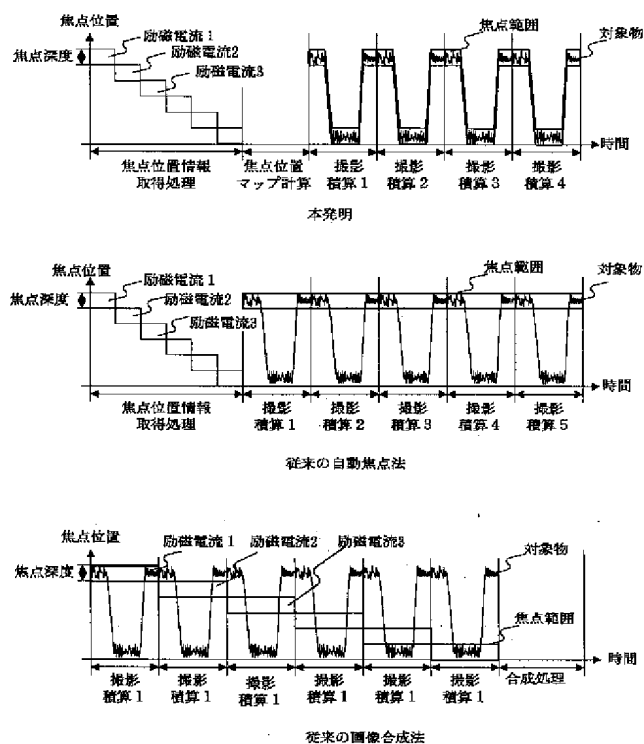
【図12】

図 12



【図13】

図 13



フロントページの続き

(51)Int. Cl.⁷

H 0 1 J 37/28

識別記号

F I

G 0 2 B 7/11

テーマコード(参考)

J

N

(72)発明者 ▲高▼根 淳

茨城県ひたちなか市大字市毛882番地 株
式会社日立製作所計測器グループ内

F ターム(参考) 2G001 AA03 BA07 CA03 FA06 GA03

GA04 GA11 JA02 JA11 JA20

KA20

2H051 AA11 DB01 GB11

5C033 DD09 DD10 MM03 UU02 UU05

UU06

PAT-NO: JP02002042706A
DOCUMENT-IDENTIFIER: JP 2002042706 A
TITLE: AUTOMATIC FOCUS FUNCTION OF
SCANNING ELECTRON MICROSCOPE
PUBN-DATE: February 8, 2002

INVENTOR-INFORMATION:

NAME	COUNTRY
WADA, MASAJI	N/A
YASUKOCHI, MASAYA	N/A
TAKANE, ATSUSHI	N/A

ASSIGNEE-INFORMATION:

NAME	COUNTRY
HITACHI LTD	N/A

APPL-NO: JP2000229023
APPL-DATE: July 25, 2000

INT-CL (IPC): H01J037/141 , G01N023/225 ,
G02B007/28 , H01J037/21 ,
H01J037/22 , H01J037/28

ABSTRACT:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide an image having focused over a whole area of an object having height difference out of a focus depth.

SOLUTION: An exciting current map adjusted to a shape of sample is prepared from a plurality of focus position images by image processing and an observation picture is photographed by varying a focus position while referring to a focus position map.

COPYRIGHT: (C) 2002, JPO